干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.04.07

1961—2015 年中国降水面积变化特征研究①

张亚宁[1]，张明军[1]，王圣杰[1]，杜铭霞[1]，马 荣[1]，王 杰[2]
（1 西北师范大学地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070； 2 南京大学地理与海洋科学学院，江苏 南京 210023）

摘 要： 基于中国 0.5°×0.5°逐月与逐日降水量网格数据集，采用线性趋势、克里金插值（Kriging）、森斜率等方法，分析 1961—2015 年中国 3 个自然区的降水量和降水面积的变化特征。结果表明：(1) 中国 1961—2015 年年均和季节平均降水量呈现由东南沿海向西北内陆递减的空间分布特征，中国一半以上的地区年均和四季降水量呈增加趋势。(2) 日变化特征上，东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区均以小雨和中雨为主，其日降水面积多年平均值分别为：1 112.75×10^3 km^2、52.65×10^3 km^2，1 380.57×10^3 km^2、92.83×10^3 km^2，1 253.9×10^3 km^2、34.3×10^3 km^2，暴雨和大暴雨占的面积较小；三个区域不同等级日降水面积年内变化均符合二次函数曲线，三个区小雨日平均降水面积年际变化均呈略微减少趋势，青藏高寒区和西北干旱区大雨、暴雨和大暴雨均呈略微增加趋势，大暴雨整体波动较大。(3) 季节变化特征上，三个区四季均以小雨为主，暴雨和大暴雨所占面积较少。春季和秋季三个区小雨降水面积均呈减少趋势，春季和夏季三个区暴雨降水面积均呈增加趋势，冬季三个区中雨和大雨降水面积呈增加趋势。(4) 东部季风区春季和秋季，西北干旱区年均和四季，青藏高寒区春季、秋季和冬季不同等级降水量对应的降水面积均符合负指数分布规律。

关 键 词： 中国；降水量；降水面积；变化特征
文章编号： 1000-6060(2019)04-0762-12(0762~0773)

气候变化受到人们的极大关注[1-4]，其最主要和最直接的原因是降水要素（降水量、降水强度、降水频率、降水面积）在时空分布上的非均匀性[5]，这就导致许多自然灾害（暴雨、洪涝、连阴雨、滑坡、泥石流等）的频发，给人们的生产和生活造成巨大的损失。降水面积是指降水笼罩在水平面上的面积，能反映雨区大小，描述降水空间分布情况，提高了对降水量分布认识的准确率[6]。其在时间和空间上的分布规律是区域气象、水文分析与设计、水资源管理及市政设计和建设等领域的研究重点[7]。

国内外学者针对降水面积变化已经做了大量研究，ADAM 等[8]利用波兰喀尔巴阡山脉的 16 个站点 132 a 的月降水量数据模拟了降雨所覆盖的面积；刘欢等[9]基于 2007—2012 年 TRMM 卫星上搭载的降水雷达提供的雷达反射率因子、降水率和降水类型等产品，对比季节内浅对流单体、层云、对流云 3 种降水系统在降水量、降水面积、降水强度以及垂直结构上的差异；马力[10]通过分析中国多年平均年降水量发现，多年平均年降水量与其占有的面积之间存在着负指数分布函数关系。陈鹏[7]利用 1961—2000 年中国共 743 个气象观测点逐日、逐月降水数据及 2008 年江苏省 69 个自动站的逐时降水数据，结合 DEM 数据研究得出：中国各月降水特别是各月逐日降水面积和降水偏多、偏少月份的月、逐日降水量面积分布规律符合负指数规律；程炳岩等[5]根据中国近 40 a 逐日降水观测资料，研究空间范围上不同等级日降水量与其占有面积的函数关系得出每一年任何一天中国区域的不同等级日降水量场的统计分布都呈明显的左偏态型。程炳岩等[5]和张学文[6]分别对降水量与降水面积的关系做了研究，发现雨量小的占的面积大而雨量大的占的面积小，且分布特征总体上呈现出随降水量的增加而减少的趋势。前人的研究均比较注重降水的其他要素[11-15]或者降水量与降水面积的函数关系[5-7,10-11,16]，这

① 收稿日期：2018-12-19； 修订日期：2019-03-27
基金项目：国家自然科学基金项目(41771035)；甘肃省高等学校科研项目创新团队项目(2018C-20)
作者简介：张亚宁，女，硕士研究生. E-mail：ynzhang94@163.com
通讯作者：张明军，男，博士生导师，教授. E-mail：mjzhang2004@163.com

些研究完善和发展了现有的降水研究理论和方法,而且为降水面积的计算提供了一个新思路,为公共服务、市政建设、抗灾救灾等提供降水量分布信息,同时也对现代地理信息系统技术的交叉应用进行了有益的探索,但对降水面积的日尺度和季节尺度定量统计研究较薄弱。

选择中国作为研究区域,利用逐日和逐月降水量 0.5°×0.5°网格数据集,将中国分为 3 个自然区[17],从统计学的角度分析中国范围内的日和季节降水面积变化特征,这有助于描述某一分区的降水状况,将降水量地理分布不均匀性的描述由定性转为定量,也能更加全面的反映中国降水的整体变化,这对评估中国干旱、洪涝灾害的影响有重要意义,也是合理布局产业结构、优化水资源配置和规避灾害风险的重要指导依据[18]。

1 资料与方法

1.1 资料

采用中国气象局国家气象信息中心基础资料专项最新整编的中国地面高密度台站(2 472 个国家级气象观测站)的 0.5°×0.5°降水量网格数据集(V2.0)(http://data.cma.cn)。该数据集利用 ANUSPLIN 软件的薄盘样条法(TPS, Thin Plate Spline)进行空间插值,生成 1961 年至最新的中国地面水平分辨率 0.5°×0.5°的日值和月值降水格点数据,插值后的数据集尽可能地消除了高程因素对降水空间插值结果的影响[19]。数据评估结果表明,格点分析值与原始序列相关程度很高,误差较小,因此能准确反应降水的变化特征[20]。且插值后的格点化降水资料能够比较细致、准确地描述中国大陆年平均降水场的东南多、西北少的主要空间特征,同时也平滑掉范围很小的降水极值中心[21]。

选取了覆盖我国 3 839 个(东部季风区 1 782 个,西北干旱区 1 083 个,青藏高寒区 974 个)格点的 1961—2015 年的逐月和逐日降水资料(图 1)。

1.2 方法

中国地域辽阔,降水变化具有明显的区域性特征[22],对三个分区进行等级划分研究有助于加深对降水面积的时间变化规律的认识,区分各等级降水的作用,达到防灾减灾的目的[23]。采用中国气象局规定的中国降水等级:小雨(0.1~9.9 mm)、中雨(10.0~24.9 mm)、大雨(25.0~49.9 mm)、暴雨(50.0~99.9 mm)、大暴雨(100.0~249.9 mm)、特大暴雨(≥250 mm)。在计算不同等级降水量降水面积时,发现特大暴雨,即日降水量大于或者等于 250 mm 的情况不存在,所以文中未对特大暴雨的降水面积进行探讨。通过逐月格点降水数据求得春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)、冬(12~次年 2 月)中国平均季节降水空间分布特征。

利用线性趋势法分析各要素的时间变化规律,计算中国不同纬度格点的面积,用非参数方法的森斜率[24]对中国年、季节降水量的年际变化率做了分析[25]。格点降水的空间插值采用的是常规克里金插值法(Kriging),利用 ArcGIS 绘制相关计算结果的空间分布图。

2 结果与分析

2.1 降水量时空变化特征

中国降水时空分布不均,季节性和区域性特征明显,为了便于研究,参考前人[17]的自然区划方法,将中国划分为东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区三个自然地理区域(图 1)。总体来看,中国 1961—2015 年年均和季节平均降水量呈现由东南沿海向西北内陆递减的分布特征。

东部季风区年均、春季和冬季降水量表现出明显的经纬度地带性特征,而夏季和秋季呈现纬度地带性特征,且夏季降水变率较大;西北干旱区春季和冬季降水量总体较少,年均、夏季和秋季降水量呈现出经度地带性特征;青藏高寒区冬季降水量较少,春季、夏季、秋季降水量都呈现出经度地带性特征;三个区域都是夏季降水量最多,冬季降水量最少,春季和秋季降水量中等。

这种中国多年平均降水量分布格局与前人[26-28]利用站点降水资料的研究结果基本一致,但相比之下,本文利用高分辨率的格点降水数据资料更能详细体现出降水的分布格局,且可以定量说明各区域降水的空间变化特征。

由表 1 可知,中国一半以上的地区年均和四季降水量呈增加趋势,且呈增加趋势的格点数分别占总格点数的 57.5%、69.3%、59.8%、54.5% 和 79.8%。从各区来看(表 2),青藏高寒区和西北干旱区年平均降水量呈增加趋势,东部季风区年平均降水量呈减少趋势。青藏高寒区的降水量倾向率最大为7.1 mm·(10 a)$^{-1}$($P<0.01$)。春季和秋季

审图号:GS(2019)2185 号

图 1　1961—2015 年中国降水量年均和季节均值的空间分布

Fig. 1　Spatial distribution of annual and seasonal average precipitation in China from 1961 to 2015

西北干旱区和青藏高寒区平均降水量呈现略微增加趋势,东部季风区均呈现略微减少趋势;夏季东部季风区和青藏高寒区平均降水量呈现略微增加趋势,西北干旱区呈现略微减少趋势;冬季东部季风区和西北干旱区平均降水量呈现略微增加趋势,青藏高寒区呈现略微减少趋势。

综上可得,东部季风区年均降水量最大,年际变化较大,其次为青藏高寒区,西北干旱区最小,且这两个区域年际变化较小。东部季风区季节降水量变化小,夏季与冬季呈增加趋势,而春季和秋季呈减少趋势,西北干旱区春季、秋季和冬季降水量都呈增加趋势,青藏高寒区除冬季外,其余季节平均降水量都呈增加趋势。

表 1　1961—2015 年中国年、季节降水量倾向率年际变化区间以及不同变化趋势格点的百分率

Tab. 1　Interval of average tendency rate and percentage of grid boxes in different variation trends for annual and seasonal mean precipitation in China during 1961—2015

	倾向率变化区间 / mm · a⁻¹	格点的百分率 / %			
		正趋势	显著正趋势	负趋势	显著负趋势
年均	-14.73 ~ 9.25	57.5	33.8	42.5	12
春季	-4.33 ~ 4.63	69.3	21.5	30.7	6.9
夏季	-11.17 ~ 6.41	59.8	75.8	40.2	59.7
秋季	-3.11 ~ 2.96	54.5	17.9	45.5	8.3
冬季	-1.47 ~ 1.64	79.8	28.1	20.2	13.4

表 2　中国年、季节平均降水量线性变化趋势

Tab. 2　Linear variation trend of annual and seasonal average precipitation in China

	东部季风区	西北干旱区	青藏高寒区
春季	-0.13	0.12 ($P>0.05$)	0.22 ($P<0.01$)
夏季	0.03	-0.01	0.28
秋季	-0.28	0.15 ($P<0.05$)	0.03
冬季	0.27 ($P<0.05$)	0.08 ($P<0.0001$)	-0.002
年均	-0.14 ($P>0.05$)	0.39 ($P<0.05$)	0.71 ($P<0.01$)

2.2 不同等级降水量降水面积变化特征

2.2.1 日和季节降水面积统计特征　三个区域都以小雨和中雨为主,暴雨和大暴雨所占面积较小。东部季风区小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨的日降水面积多年平均值分别为 1 112.75 × 10^3 km^2、52.65 × 10^3 km^2、14.34 × 10^3 km^2、2.9 × 10^3 km^2 和 0.24 × 10^3 km^2;西北干旱区小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨的日降水面积多年平均值分别为 1 380.57 × 10^3 km^2、92.83 × 10^3 km^2、21.81 × 10^3

km^2、$4.77\times10^3\ km^2$ 和 $0.412\times10^3\ km^2$;青藏高寒区小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨的日降水面积多年平均值分别为 $1\ 253.9\times10^3\ km^2$、$34.3\times10^3\ km^2$、$5.21\times10^3\ km^2$、$0.84\times10^3\ km^2$ 和 $0.07\times10^3\ km^2$。

从图 2 和表 3 可知,东部季风区和西北干旱区春季及秋季主要小雨和中雨为主,夏季以小雨、中雨和大雨为主,冬季以小雨为主,暴雨和大暴雨所占面积较少。青藏高寒区春季以小雨、中雨和大雨为主,夏季以小雨和中雨为主,秋季和冬季都以小雨为主,暴雨和大暴雨占的面积较少。不同等级降水量值小的占的面积较大,降水量值大的占的面积较小。

2.2.2 日和季节降水面积时间变化特征 由图 3 可知,三个区域不同等级日降水面积变化均符合二次函数曲线,除大暴雨以外,其余等级日降水面积年内变化总体呈现增加趋势。东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区小雨日降水面积最大,分别为 $2\ 011.82\times10^3\ km^2$、$1\ 800.52\times10^3\ km^2$ 和 $2\ 242.75\times10^3\ km^2$。东部季风区和西北干旱区大暴雨日降水面积均最小。

由图 4 和表 4 可知,三个区域小雨日平均降水面积年际变化趋势均呈现略微减少趋势。东部季风区日平均降水面积小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨都呈现缓慢减少趋势,且波动不大,小雨变化趋势最为明显,变化率为 $15.37\times10^3\ km^2\cdot(10\ a)^{-1}$

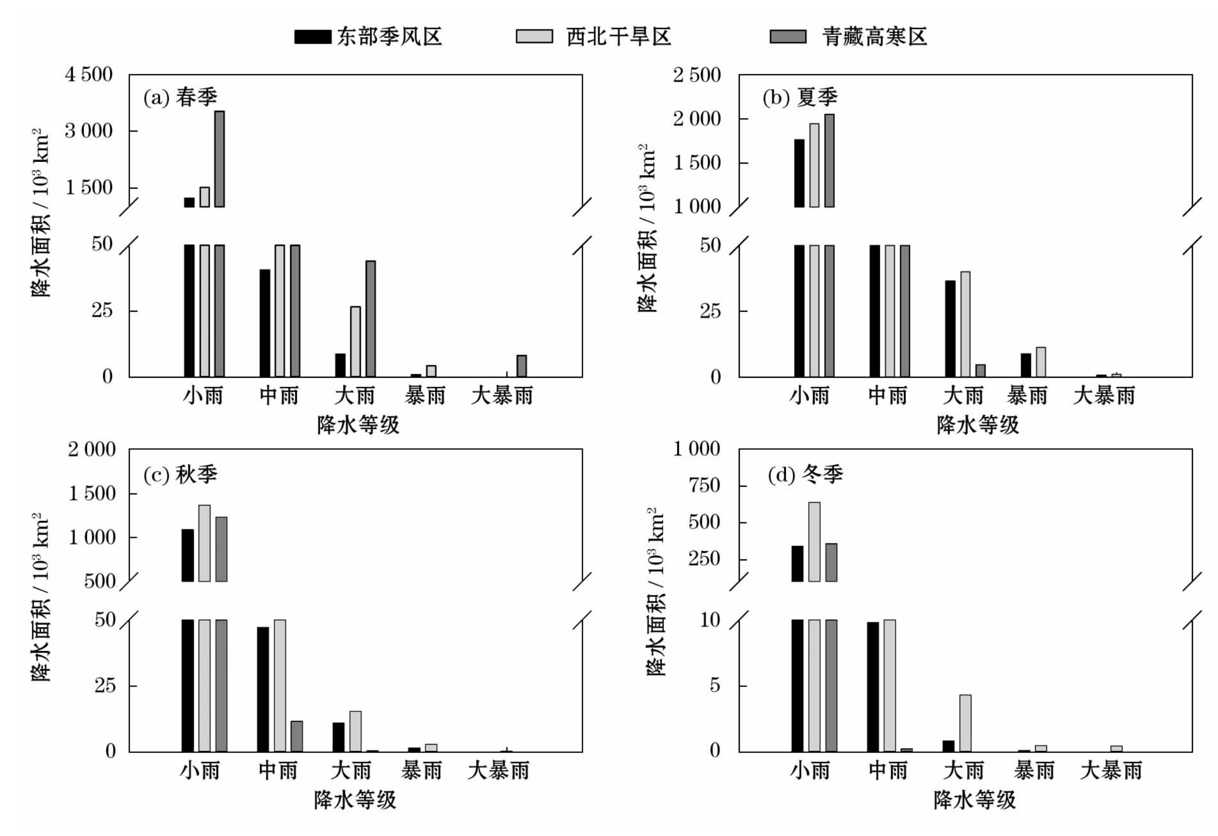


图 2 中国不同等级降水量的季节降水面积特征

Fig. 2 Seasonal precipitation area characteristics of different levels of precipitation in China

表 3 中国不同等级降水量的季节降水面积统计 / 10^3 km^2

Tab. 3 Seasonal precipitation area statistics of different levels of precipitation in China / 10^3 km^2

	东部季风区				西北干旱区				青藏高寒区			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
小雨	1 239	1 763.5	1 088.7	339.05	1 522.2	1 946.2	1 369.8	641.39	3 534.9	2 051.4	1 228.8	356.46
中雨	40.63	112.1	47.17	9.8	85.24	184.62	72.32	25.84	180.17	63.12	11.57	0.23
大雨	8.79	36.51	10.95	0.85	26.74	39.99	15.35	4.3	44.08	4.87	0.44	0.04
暴雨	1.03	9.02	1.56	0.103	4.38	11.34	2.89	0.49	0.06	0.25	0.05	–
大暴雨	0.08	0.82	0.203	0	0.24	1.196	0.31	0.456	8.33	0.042	0	0.46

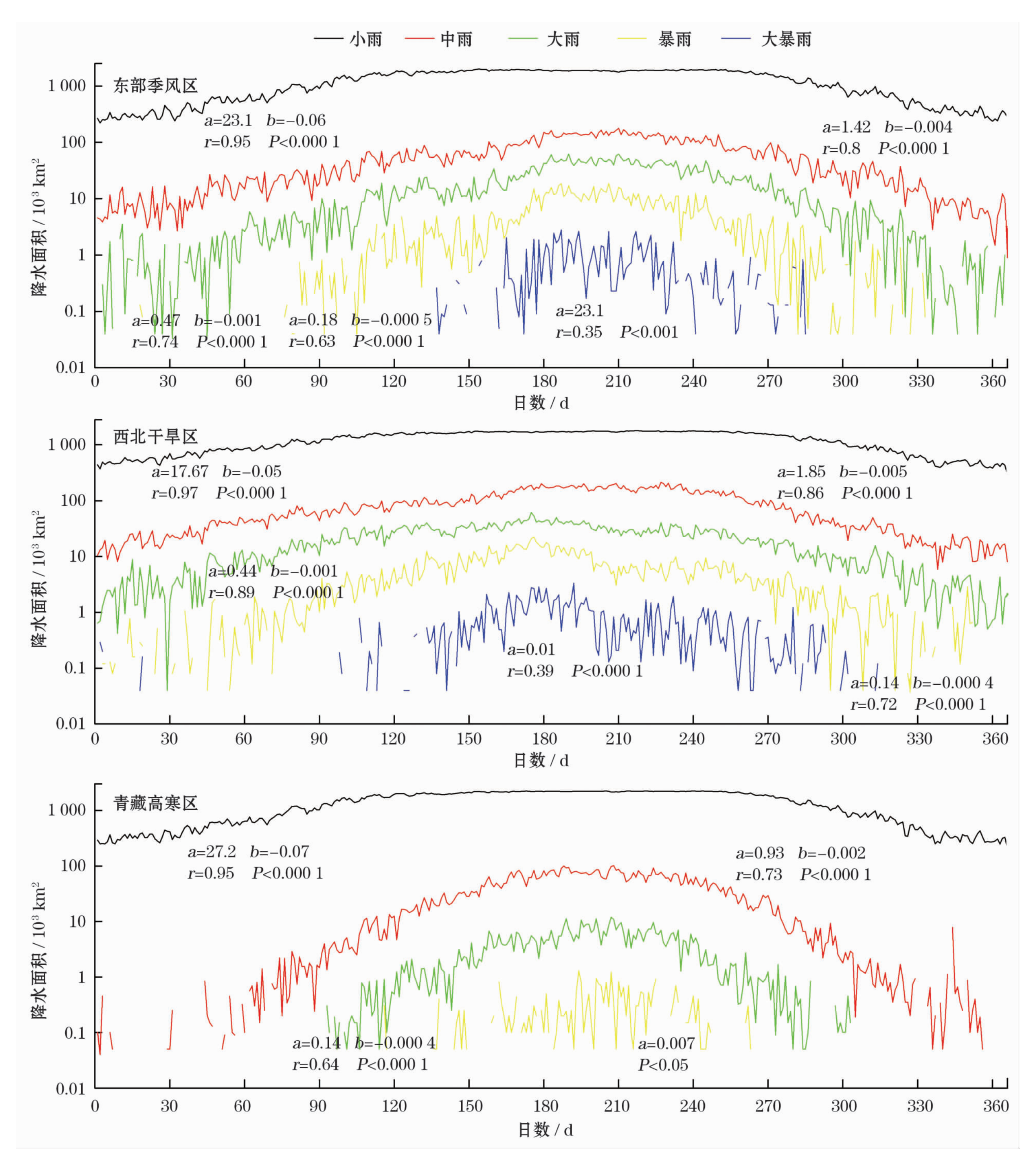


图 3 中国不同等级降水量日平均降水面积年内变化特征

Fig. 3 Annual variation characteristics of daily average precipitation area in different levels of precipitation in China

($P<0.01$)。西北干旱区日平均降水面积小雨和中雨呈现减少趋势，变化率分别为：13.4×10^3 km² · (10 a)$^{-1}$($P<0.01$)和0.6×10^3 km² · (10 a)$^{-1}$，大雨、暴雨和大暴雨都呈现略微增加趋势。青藏高寒区日平均降水面积小雨呈现减少趋势，变化率为6.52×10^3 km² · (10 a)$^{-1}$，中雨、大雨、暴雨和大暴雨都呈现增加趋势，中雨、大雨和暴雨日平均降水面积从1961年开始缓慢上升，2000年左右出现极大值，然后呈现减少趋势，大暴雨整体波动较大。

由图5和表5可知，春季东部季风区小雨降水面积呈现明显的减少趋势，变化率为25×10^3 km² · (10 a)$^{-1}$($P<0.05$)，中雨、大雨、暴雨和大暴雨都呈现增加趋势，西北干旱区小雨、中雨和大暴雨降水面积呈现减少趋势，小雨降水面积变化率为28.1×10^3 km² · (10 a)$^{-1}$($P<0.01$)，大雨和暴雨都呈现增加趋势，青藏高寒区小雨和大暴雨降水面积呈现

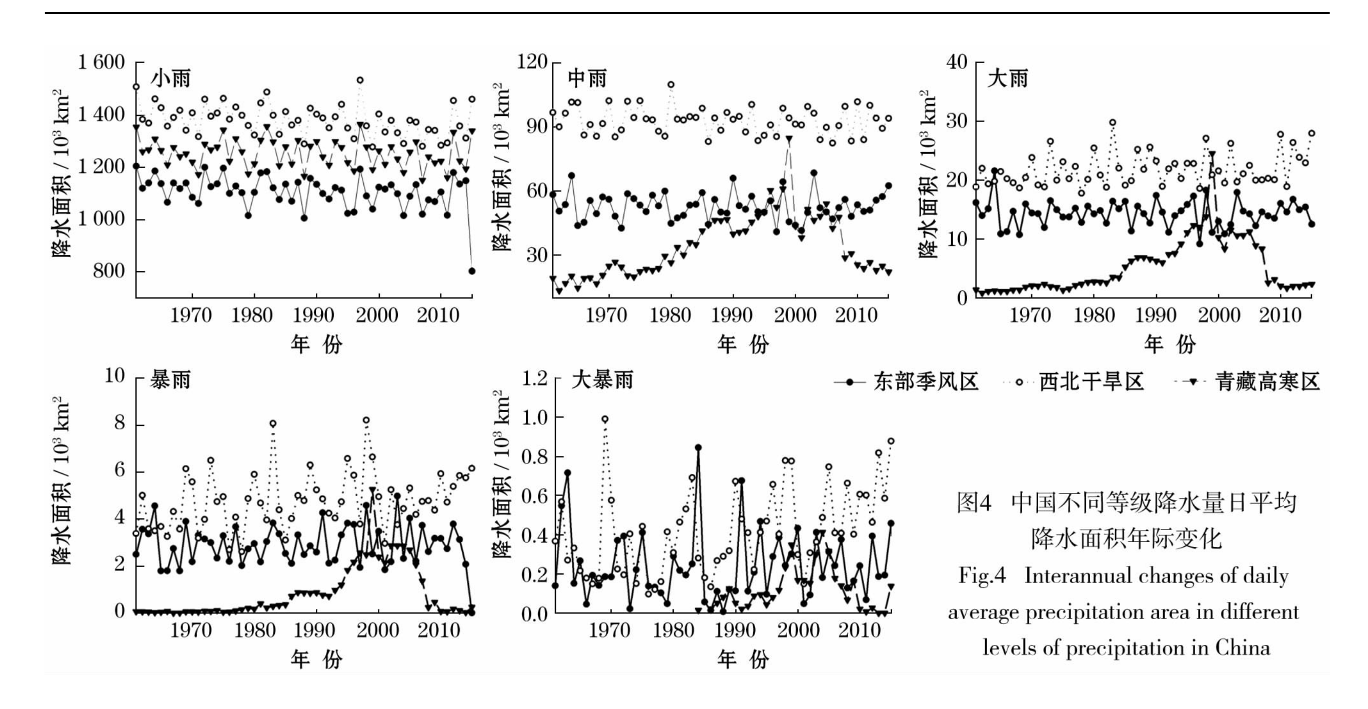


图4 中国不同等级降水量日平均降水面积年际变化

Fig.4 Interannual changes of daily average precipitation area in different levels of precipitation in China

表 4 中国不同等级降水量日平均降水面积年际变化线性趋势

Tab. 4 Linear trend of interannual variation of daily average precipitation area in different levels of precipitation in China

	东部季风区	西北干旱区	青藏高寒区
小雨	−1.537($P<0.01$)	−1.34($P<0.01$)	−0.652
中雨	−0.003	−0.06	0.454($P<0.000\ 1$)
大雨	−0.004	0.05($P<0.05$)	0.134($P<0.001$)
暴雨	−0.001	0.02($P<0.05$)	0.032($P<0.001$)
大暴雨	–	0.006($P<0.01$)	0.002

减少趋势,小雨降水面积变化率为 77.5×10^3 km²·(10 a)$^{-1}$($P<0.01$),中雨、大雨和暴雨都呈现增加趋势。

由图 6 和表 5 可知,夏季东部季风区小雨和暴雨呈现增加趋势,中雨、大雨和大暴雨呈现减少趋势,西北干旱区小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨均呈现增加趋势,小雨降水面积变化率为 9.5×10^3 km²·(10 a)$^{-1}$($P<0.05$),青藏高寒区小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨呈现增加趋势。

由图 7 和表 5 可知,秋季东部季风区小雨和暴雨呈现减少趋势,小雨降水面积变化率为 14.6×10^3 km²·(10 a)$^{-1}$,中雨、大雨和大暴雨呈现增加趋势,西北干旱区小雨、中雨和大雨呈现减少趋势,

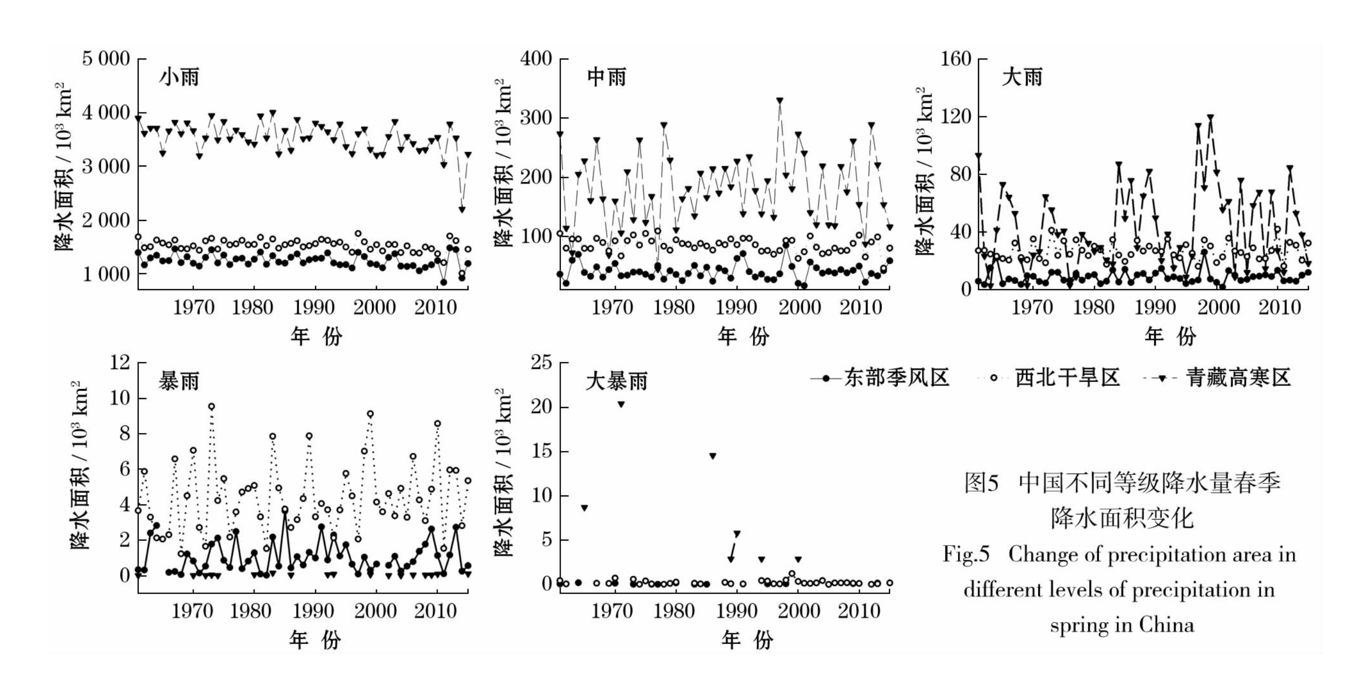


图5 中国不同等级降水量春季降水面积变化

Fig.5 Change of precipitation area in different levels of precipitation in spring in China

小雨降水面积变化率为 $21\times10^3\ km^2\cdot(10\ a)^{-1}$ ($P>0.05$)，暴雨和大暴雨呈现增加趋势，青藏高寒区小雨呈现减少趋势，小雨降水面积变化率为 $12\times10^3\ km^2\cdot(10\ a)^{-1}$，中雨、大雨和暴雨呈现增加趋势。

由图 8 和表 5 可知，冬季东部季风区小雨、中雨、大雨和暴雨呈现增加趋势，西北干旱区小雨呈减少趋势，中雨、大雨、暴雨和大暴雨呈现增加趋势，青藏高寒区小雨、中雨和大雨呈现增加趋势，小雨降水面积变化率为 $9.97\times10^3\ km^2\cdot(10\ a)^{-1}$。

2.3 年和季节分等级降水量面积分布

由图 9 可知，东部季风区和青藏高寒区年降水量对应的面积及百分比呈现先增加后减少的趋势，东部季风区峰值在 500～600 mm 降水量区间，对应的面积为 $776.65\times10^3\ km^2$，所占百分比最大，为 17.35%，青藏高寒区峰值在 100～200 mm 降水量区间，对应的面积为 $635.24\times10^3\ km^2$，所占百分比最大，为 25.33%；西北干旱区年降水量对应的面积及百分比随着降水量的增加呈现减少趋势，0～100 mm 降水量区间对应的面积为 $1\ 028.53\times10^3\ km^2$，所占百分比最大，为 41.32%。

由图 10 可知，春季东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区随着降水量的增加对应的面积和百分比减少。三个区峰值均在 0～100 mm 降水量区间，对应的面积分别为 $1\ 482.58\times10^3\ km^2$、$2\ 399.57\times10^3\ km^2$ 和 $2\ 000.45\times10^3\ km^2$，所占百分比均最大，分别为 33.12%、96.41% 和 79.78%。

夏季东部季风区和青藏高寒区年降水量对应的

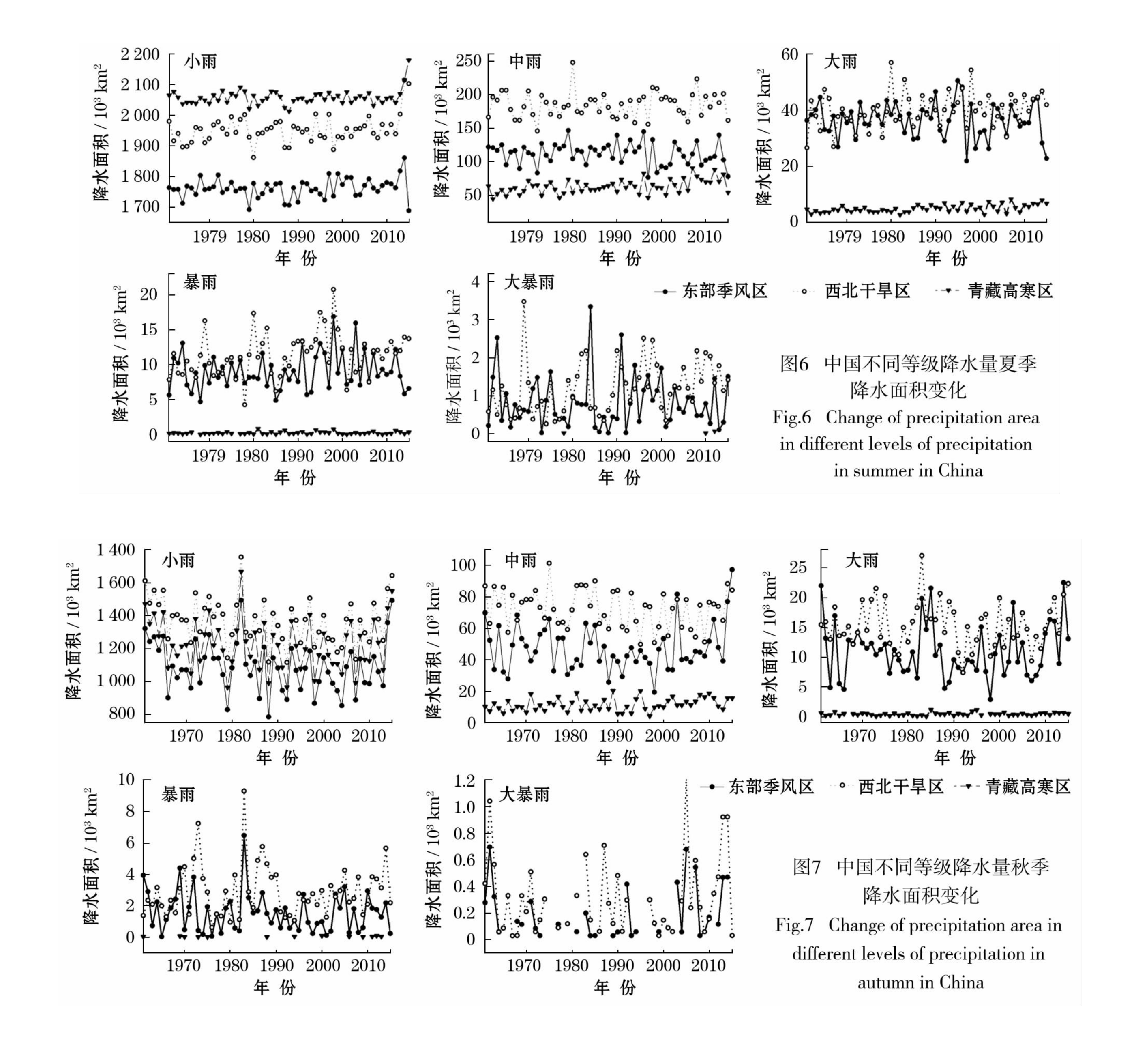


图6 中国不同等级降水量夏季降水面积变化

Fig.6 Change of precipitation area in different levels of precipitation in summer in China

图7 中国不同等级降水量秋季降水面积变化

Fig.7 Change of precipitation area in different levels of precipitation in autumn in China

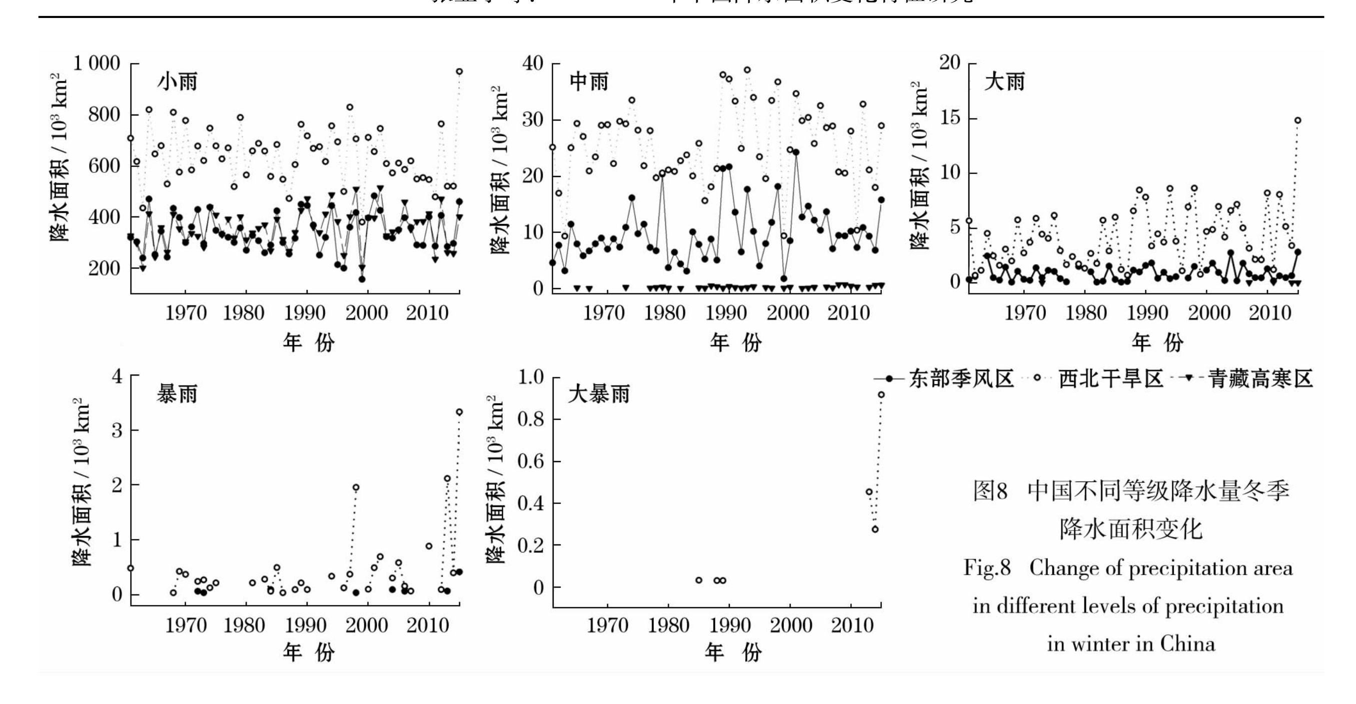


图8 中国不同等级降水量冬季降水面积变化

Fig.8 Change of precipitation area in different levels of precipitation in winter in China

表 5 中国不同等级降水量季节降水面积变化线性趋势

Tab. 5 Linear trend of seasonal precipitation area in different levels of precipitation in China

	东部季风区				西北干旱区				青藏高寒区			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
小雨	-2.5	0.37	-1.46	0.31	-2.81	0.95	-2.1	-0.68	-7.75	0.36	-1.2	0.997
中雨	0.01	-0.16	0.06	0.08	-0.25	0.096	-0.16	0.05	0.34	0.31	0.08	0.01
大雨	0.01	-0.04	0.001	0.01	0.02	0.11	-0.001	0.06	0.22	0.04	0.003	0.000 3
暴雨	0.002	0.02	-0.01	0.004	0.02	0.06	0.01	0.02	0.001	0.001	0.000 4	-
大暴雨	0.000 3	-0.001	0.001	-	-0.001	0.015	0.002	0.02	-0.35	0.001	-	-

面积及百分比呈现先增加后减少的趋势,东部季风区峰值在 300~400 mm 降水量区间,对应的面积为 1 146.87 × 10^3 km^2,所占百分比最大,为 26.37%,青藏高寒区峰值在 100~200 mm 降水量区间,对应的面积为 746.16 × 10^3 km^2,所占百分比最大,为 29.79%,西北干旱区随着降水量的增加对应的面积及百分比减少,峰值在 0~100 mm 降水量区间,对应的面积为 1 486.63 × 10^3 km^2,所占百分比为 59.73%。

秋季东部季风区年均降水量对应的面积及百分比呈现先增加后减少的趋势,东部季风区峰值在 200~300 mm 降水量区间,对应的面积为 1 755.14 × 10^3 km^2,所占百分比最大,为 39.29%,西北干旱区和青藏高寒区随着降水量的增加对应的面积及百分比减少,两个区峰值均在 0~100 mm 降水量区间,对应的面积分别为 2 462.47 × 10^3 km^2 和 1 742.9 × 10^3 km^2,所占百分比均最大,分别为 98.93% 和 69.51%。

冬季东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区随着降水量的增加对应的面积和百分比减少。三个区峰值均在 0~100 mm 降水量区间,对应的面积分别为 3 281.63 × 10^3 km^2、2 489.03 × 10^3 km^2 和 2 499.43 × 10^3 km^2,所占百分比均最大,分别为 73.32%、100% 和 99.68%。

总结可得,东部季风区春季和秋季,西北干旱区年均和四季,青藏高寒区春季、秋季和冬季不同等级降水量对应的降水面积都符合负指数分布规律,这与前人[5-7]的研究一致,不同等级降水量对应的降水面积都符合负指数分布规律,即随着降水量的增加,降水面积呈现减少趋势。

3 讨 论

关于降水面积,前人[5-6, 10]研究可知,中国多年平均年降水量与其占有的面积之间存在着负指数分布函数关系,每一年任何一天中国区域的不同等级日降水量场的统计分布都呈明显的左偏态型,雨量小的占的面积大而雨量大的占的面积小。这些研究

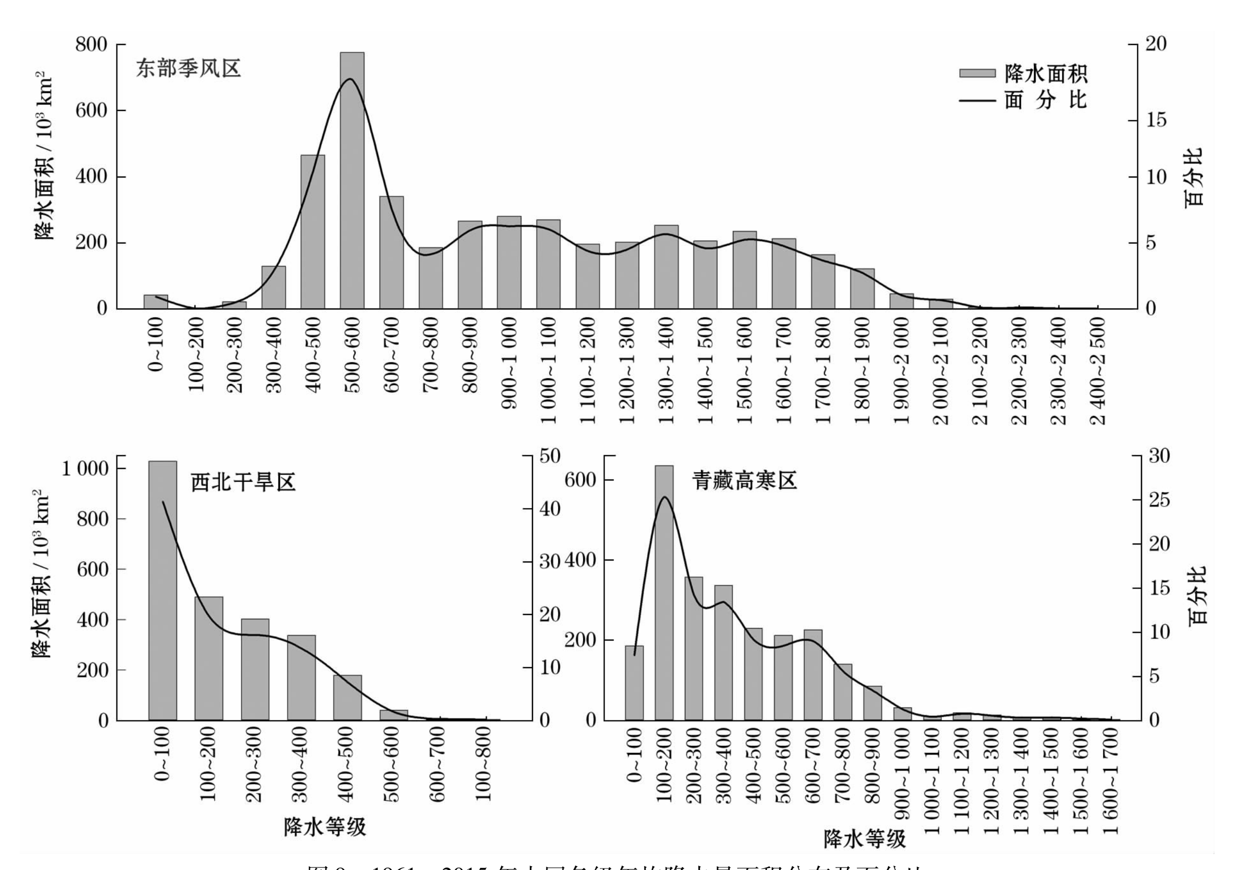


图 9　1961—2015 年中国各级年均降水量面积分布及百分比

Fig. 9　Distribution and percentage of annual precipitation area at all levels in China during 1961—2015

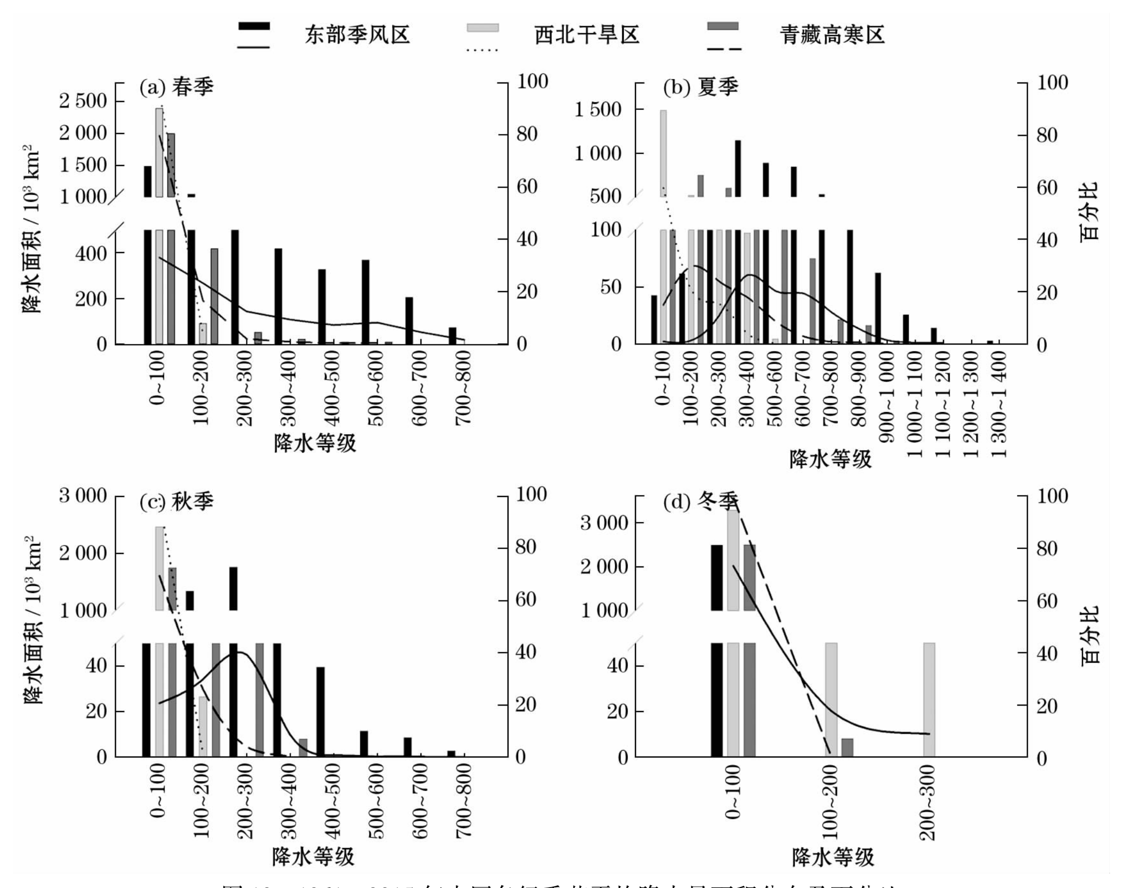


图 10　1961—2015 年中国各级季节平均降水量面积分布及百分比

Fig. 10　Distribution and percentage of seasonal precipitation area at all levels in China during 1961—2015

主要基于观测站点展开,考虑到中国地形复杂多样,基于格点降水量的研究可以解决观测站点分布不均及山区海拔对降水低估的问题[29],运用格点数据可以快捷得到中国降水面积变化特征,研究结果更加明确、更加精细,能更加全面的反映中国降水在面积上的整体变化特点,将降水量地理分布不均匀性的描述由定性转为定量,有助于描述某一分区的降水状况,分析中国范围内的降水面积变化特征,同时也能为制定应对气候变化策略提供很好的依据,对水资源的综合管理和流域的防洪减灾也具有重要意义。本文在前人研究的基础上,将中国分为 3 个自然区[17]进行分析可知,三个区均以小雨和中雨为主,暴雨和大暴雨占的面积较小。东部季风区春季和秋季,西北干旱区年均和四季,青藏高寒区春季、秋季和冬季不同等级降水量对应的降水面积都符合负指数分布规律,三个区域不同等级日降水面积年内变化均符合二次函数曲线,三个区小雨日平均降水面积年际变化趋势基本一致,呈现略微减少趋势。

本文主要倾向于从统计学角度分析研究全国不同等级降水量的日和季节降水面积的变化特征,无需考虑降水量的具体空间分布情况,既定量而又相对准确地描述研究区域的降水分布情况,也有助于深入认识全国降水在面积上的变化特点,同时能够为面雨量分布式模型的计算和抗灾救灾提供必要的降水量分布信息[7]。

降水面积的变化特征不但与全球气候变化的大背景有关,也受到大气环流的影响,如东亚季风、西风环流及极涡指数等[30-33],有待于借助其他的科研手段和方法以及其他的遥感气象、气候资料和环流事件等对降水面积在空间上的变化进行反演深入研究。

4 结 论

本文基于中国 0.5°×0.5°逐月与逐日降水量网格数据集,采用线性趋势、克里金插值(Kriging)及森斜率等方法,对 1961—2015 年中国 3 个降水气候代表区的年和季节平均降水量及日和季节降水面积的变化特征进行了分析。研究结果更加明确、更加精细,能更加全面的反映中国降水在面积上的整体变化特点,这对评估中国干旱、洪涝灾害的影响有重要意义,其结论如下:

(1) 中国 1961—2015 年年均和季节平均降水量呈现由东南沿海向西北内陆递减的分布特征。中国一半以上的地区年均和四季降水量呈增加趋势;东部季风区年均降水量最大,年际变化较大,西北干旱区最小,年际变化较小。东部季风区年均、春季和秋季平均降水量都呈现减少趋势,夏季和冬季呈增加趋势,西北干旱区除夏季外,青藏高寒区除冬季外,其余季节和年均均呈增加趋势。

(2) 日变化特征上,三个区均以小雨和中雨为主,其日降水面积多年平均值分别为:1 112.75 × 10^3 km^2、52.65 × 10^3 km^2, 1 380.57 × 10^3 km^2、92.83 × 10^3 km^2,1 253.9 × 10^3 km^2、34.3 × 10^3 km^2,暴雨和大暴雨占的面积较小;三个区域不同等级日降水面积年内变化均符合二次函数曲线,三个区小雨日平均降水面积年际变化趋势基本一致,呈现略微减少趋势。西北干旱区中雨和东部季风区中雨、大雨、暴雨、大暴雨日平均降水面积呈现减少趋势,青藏高寒区中雨、大雨、暴雨和大暴雨以及西北干旱区大雨、暴雨和大暴雨均呈现略微增加趋势,大暴雨整体波动较大。

(3) 季节变化特征上,三个区四季主要以小雨为主,暴雨和大暴雨所占面积较少。春季和秋季三个区小雨降水面积均呈减少趋势,春季和夏季三个区暴雨降水面积均呈增加趋势,冬季三个区中雨和大雨降水面积呈增加趋势。

(4) 东部季风区年均、夏季和秋季,青藏高寒区年均和夏季降水量对应的面积及百分比呈现先增加后减少的趋势;春季和冬季三个区随着降水量的增加对应的面积和百分比减少,西北干旱区年均、夏季和秋季,青藏高寒区秋季随着降水量的增加对应的面积及百分比减少。总结可知,东部季风区春季和秋季,西北干旱区年均和四季,青藏高寒区春季、秋季和冬季不同等级降水量对应的降水面积都符合负指数分布规律。

参考文献(References)

[1] 胡豪然,毛晓亮,梁玲. 近 50 年四川盆地汛期极端降水事件的时空演变[J]. 地理学报,2008,64(3):279 - 288. [HU Haoran, MAO Xiaoliang, LIANG Ling. Temporal and spatial variations of extreme precipitation events of flood season over Sichuan Basin in last 50 years[J]. Acta Geographica Sinica,2008,64(3):279 - 288.]

[2] 宋世凯. 全球变暖背景下 1960—2014 年中国降水时空变化特征[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2017:1 - 137. [SONG Shikai. Spatial and temporal variation characteristics of precipitation over China during 1960—2014 under global warming[D]. Urumqi: Xinjiang University,2017:1 - 137.]

[3] 李佳秀,杜春丽,杜世飞,等. 新疆极端降水事件的时空变化及趋势预测[J]. 干旱区研究,2015,32(6):1103 - 1112. [LI Jiax-

iu, DU Chunli, DU Shifei, et al. Temporal-spatial variation and trend prediction of extreme precipitation events in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(6): 1103 – 1112.]

[4] 陈荣,张明军,王圣杰,等. 2008—2014 年新疆夏季逐时雨强时空特征及其影响因素[J]. 干旱区研究,2017,34(6):1240 – 1249. [CHEN Rong, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Spatio-temporal variation of hourly rainfall intensity and its affecting factors in Xinjiang in summer during the period from 2008 to 2014[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(6): 1240 – 1249.]

[5] 程炳岩,顾万龙,李云,等. 中国日降水量与其占有面积的函数关系[J]. 高原气象,2005,24(3):422 – 427. [CHENG Bingyan, GU Wanlong, LI Yun, et al. Function relationship between daily rainfall in China and its area in horizontal region[J]. Plateau Meteorology, 2005, 24(3): 422 – 427.]

[6] 张学文. 从熵原理得出的暴雨面积和雨量的关系[J]. 高原气象,1991,10(3):225 – 232. [ZHANG Xuewen. The relationship between the area and the depth of the storms derived from entropy principle[J]. Plateau Meteorology, 1991, 10(3): 225 – 232.]

[7] 陈鹏. 不同等级降水量与降水面积关系分析[D]. 南京:南京信息工程大学,2017:1 – 59. [CHEN Peng. Analysis of relationship between precipitation and precipitation area at different grades[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2017: 1 – 59.]

[8] ADAM W, MARTA C, ROBERT T. A model for estimating rains' area, using the dependence of the time correlation of sites' monthly precipitation totals on the distance between sites[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2016, 124: 913 – 918.

[9] 刘欢,郭建平,陈田萌,等. 全球热带海洋地区降水季节变化的 TRMM 卫星观测[J]. 科学通报,2017,62(1):90 – 104. [LIU Huan, GUO Jianping, CHEN tianmeng, et al. On the seasonal variation of various types of precipitation over global tropical ocean region: A perspective from TRMM measurements[J]. Chinese Science Bulletin, 2017, 62(1): 90 – 104.]

[10] 马力. 多年平均年降水量的面积分布律[J]. 气象,1980,22(12):35 – 39. [MA Li. The area distribution law of the mean-years annual precipitation[J]. Meteorological Monthly, 1980, 22(12): 35 – 39.]

[11] 张学文. 雨区相对面积的出现概率分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2007,1(4):13 – 16. [ZHANG Xuewen. Probability analysis of relative rainfall area[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2007, 1(4): 13 – 16.]

[12] 陈鹏,程思,陈景丽. GIS 支持下的雨量时空分布特征分析[J]. 气象水文海洋仪器,2013,(1):21 – 24. [CHEN Peng, CHENG Si, CHEN Jingli. Spatio temporal distribution of precipitation based on GIS[J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2013, (1): 21 – 24.]

[13] 陈晓燕,尚可政,王式功,等. 近 50 年中国不同强度降水日数时空变化特征[J]. 干旱区研究,2010,27(5):766 – 772. [CHEN Xiaoyan, SHANG Kezheng, WANG Shigong, et al. Analysis on the spatio temporal characteristics of precipitation under different intensities in China in recent 50 years[J]. Arid Zone Research, 2010, 27(5): 766 – 772.]

[14] 孙凤华,杨素英,任国玉. 东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化[J]. 应用气象学报,2007,18(5):610 – 618. [SUN Fenghua, YANG Suying, REN Guoyu. Decade variations of precipitation event frequency, intensity and duration in the Northeast China[J]. Journal of Applied Metcorological Science, 2007, 18(5): 610 – 618.]

[15] 陈少勇,任燕,乔立. 中国西北地区大雨以上降水日数的时空分布特征[J]. 资源科学,2011,33(5):958 – 965. [CHEN Shaoyong, REN Yan, QIAO Li, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of days with above heavy rainfall over northwestern China[J]. Resources Science, 2011, 33(5): 958 – 965.]

[16] 马力,沙拉买提. 暴雨降水强度和历时的面积分布律[J]. 高原气象,1993,12(4):432 – 436. [MA Li, SHA Lamaiti. Distribution regularity of precipitation intensity and duration over an area[J]. Plateau Meteorology, 1993, 12(4): 432 – 436.]

[17] 全国农业区划委员会《中国自然区划概要》编写组. 中国自然区划概要[M]. 北京:科学出版社,1984. [National Agricultural Regional Planning Committee, 'Comprehensive Outline of China's Natural Regionalization' Compilation Group. Outline of natural division in China[M]. Beijing: Science Press, 1984.]

[18] 李芬,张建新,张荣. 1958—2013 年山西降水时空分布[J]. 中国沙漠,2015,35(5):1301 – 1311. [LI Fen, ZHANG Jianxin, ZHANG Rong. Spatial-temporal characteristics of precipitation in Shanxi during 1958—2013[J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(5): 1301 – 1311.]

[19] 任正果,张明军,王圣杰,等. 1961—2011 年中国南方地区极端降水事件变化[J]. 地理学报,2014,69(5):640 – 649. [REN Zhengguo, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Changes in precipitation extremes in South China during 1961—2011[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(5): 640 – 649.]

[20] 国家气象信息中心. 中国地面降水 0.5°×0.5°格点数据集(V2.0)评估报告[R]. 北京:国家气象信息中心,2012. [National Meteorological Information Center. Assessment report of China's ground precipitation 0.5°×0.5° gridded dataset (V2.0)[R]. Beijing: National Meteorological Information Center, 2012.]

[21] 赵煜飞,朱江,许艳. 近 50 a 中国降水格点数据集的建立及质量评估[J]. 气象科学,2014,34(4):414 – 420. [ZHAO Yufei, ZHU Jiang, XU Yan. Establishment and assessment of the grid precipitation datasets in China for recent 50 years[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2014, 34(4): 414 – 420.]

[22] 王大钧,陈列,丁裕国. 近 40 年来中国降水量、雨日变化趋势及与全球温度变化的关系[J]. 热带气象学报,2006,22(3):283 – 289. [WANG Dajun, CHEN Lie, DING Yuguo. Changes of precipitation and rain day in China in the last 40 years and their relations with global temperature changes[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2006, 22(3): 283 – 289.]

[23] 宋瑶,周顺武,王传辉,等. 中国西北地区东部夏季不同等级降水时间演变特征[J]. 中国沙漠,2018,38(1):1 – 10. [SONG Yao, ZHOU Shunwu, WANG Chuanhui, et al. Temporal evolution characteristics of summer graded precipitation over the east of northwest China during 1965—2014[J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(1): 1 – 10.]

[24] SEN P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau[J]. Publications of the American Statistical Association, 1968, 63(324): 1379 – 1389.

[25] 王杰,张明军,王圣杰,等. 基于高分辨率格点数据的 1961—2013 年青藏高原雪雨比变化[J]. 地理学报,2016,71(1):142 – 152. [WANG Jie, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Change of snowfall/rainfall ratio in the Tibetan Plateau based on a gridded dataset with high resolution during 1961—2013[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(1): 142 – 152.]

[26] 翟建青,曾小凡,姜彤. 中国旱涝格局演变(1961—2050 年)及

其对水资源的影响[J]. 热带地理,2011,31(3):237 - 242. [ZHAI Jianqing,ZENG Xiaofan,JIANG Tong. Evolution of drought and flood pattern and its effect on water resources in China from 1961 to 2050[J]. Tropical Geography,2011,31(3):237 - 242.]

[27] 钟军. 中国降水的时空和概率分布特征[D]. 南京:南京信息工程大学,2013:1 - 59. [ZHONG Jun. Temporal-spatial and probability of distribution of precipitation in China[D]. Nanjing:Nanjing University of Information Science & Technology,2013:1 - 59.]

[28] 钟军,苏布达,翟建青,等. 中国日降水的分布特征和未来变化[J]. 气候变化研究进展,2013,9(2):89 - 95. [ZHONG Jun,SU Buda,ZHAI Jianqing,et al. Distribution characteristics and future trends of daily precipitation in China[J]. Advances in Climate Change Research,2013,9(2):89 - 95.]

[29] 强芳,张明军,王圣杰,等. 基于格点数据的 1961—2012 年祁连山面雨量特征分析[J]. 地理学报,2015,70(7):1125 - 1136. [QIANG Fang,ZHANG Mingjun,WANG Shengjie,et al. Changes of areal precipitation based on gridded dataset in Qilian Mountains during 1961—2012[J]. Journal of Geographical Sciences,2015,70(7):1125 - 1136.]

[30] 张存杰,谢金南,李栋梁,等. 东亚季风对西北干旱气候的影响[J]. 高原气象,2002,21(2):193 - 198. [ZHANG Cunjie,XIE Jinnan,LI Dongliang,et al. Effect of East-Asian monsoon on drought climate of Northwest China[J]. Plateau Meteorology,2002,21(2):193 - 198.]

[31] 杨金虎,杨启国,姚玉璧,等. 西北东部夏季干湿演变及环流特征[J]. 气象,2006,32(10):94 - 101. [YANG Jinhu,YANG Qiguo,YAO Yubi,et al. Analysis of drought and moist evolution and circulation features over the east of Northwest China in summer[J]. Meteorological Monthly,2006,32(10):94 - 101.]

[32] 梁旭,冯建民,张智,等. 宁夏干旱气候变化及其成因研究[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(8):68 - 74. [LIANG Xu,FENG Jianmin,ZHANG Zhi,et al. A study on drought climate change and its causes[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2007,21(8):68 - 74.]

[33] 李菲,张明军,李小飞,等. 1961—2011 年来宁夏不同等级降水的变化特征[J]. 生态学杂志,2013,32(8):2154 - 2162. [LI Fei,ZHANG Mingjun,LI Xiaofei,et al. Variation characteristics of different-level precipitation in Ningxia of southwest China in 1962—2011[J]. Chinese Journal of Ecology,2013,32(8):2154 - 2162.]

Changes of precipitation area in China from 1961 to 2015

ZHANG Ya-ning[1], ZHANG Ming-jun[1], WANG Sheng-jie[1], DU Ming-xia[1], MA Rong[1], WANG Jie[2]

(1 *College of Geography and Environmental Science*, *Northwest Normal University*, *Lanzhou* 730070, *Gansu*, *China*;
2 *School of Geographic and Oceanographic Sciences*, *Nanjing University*, *Nanjing* 210023, *Jiangsu*, *China*)

Abstract: The non-uniformity of precipitation elements (precipitation, precipitation intensity, precipitation frequency, precipitation area) in time and space leads to the frequent occurrence of many natural disasters (storms, floods, continuous rain, landslides, mudslides, et al.), causing great losses to people's production and life, which have raised great concern. Based on 0.5°×0.5° monthly and daily precipitation grid datasets in China from 1961 to 2015, the characteristics of precipitation and precipitation area in three regions of China were analyzed using linear trend method, Kriging interpolation method and forest slope method. The annual and seasonal average precipitation both presented a decreasing pattern from the southeast coast to the northwest inland, the annual and seasonal average precipitation in over half of China's region showed an increasing trend. In terms of daily and seasonal variations, light rain and moderate rain mainly were concentrated in the eastern monsoon region and the northwest arid region and the Qinghai-Tibet alpine region of China, but the area occupied by rainstorm and heavy rainstorm was small. The annual variation of daily precipitation area at different levels in the three regions followed a quadratic function curve, and the inter annual variation of the average precipitation area in the three regions showed a slight decrease. The heavy rain, rainstorm and downpour displayed a slightly increasing trend in the Qinghai-Tibet alpine region and the arid areas of northwest China. From the seasonal change characteristic perspective, the light rain dominated in all seasons in the three regions. The areas with rainstorm or downpour accounted for a smaller proportion. Precipitation areas of light rain in the three regions in spring and autumn showed a decreasing trend, and rainstorm in spring and summer showed an increasing trend, and moderate rain and heavy rain in winter showed an increasing trend. The precipitation areas at different levels of precipitation all conformed to a negative index distribution in the eastern monsoon region in spring and autumn, in the arid areas of northwest China in all seasons and in the Qinghai-Tibet alpine region in spring, autumn and winter. The variation characteristics of precipitation area in China provides a good basis for formulating climate change strategies. It is also of great significance for the comprehensive management of water resources and flood control and disaster mitigation in the basin.

Key words: China; precipitation; precipitation area; changing characteristics